宇宙航空の最新情報マガジン
JAXA's
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
機関誌
［ジャクサス］
No.075
January 2019
種子島宇宙センター
50th
Anniversary

[ジャクサス] 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構機関誌

No.075 January 2019

Cover Photo:種子島宇宙センターは、2018年に開設50周年を迎えました。SB-IIA-9ロケットから現在のH-IIA、H-IIBロケットまで、数多くのロケットがこの世界一美しいロケット発射場から打ち上げられました。種子島宇宙センター50年の歩みについては今号P3-7をご覧ください。

種子島宇宙センター打ち上げ50周年を記念して、いつもは厳重な管理下にあるH-IIAとH-IIBロケットの吉信発射場を一般公開しました。青空の下、ギネスブックにも登録された世界一大きな扉が開くところを地元の子供たちと一緒に眺めながら、半世紀にわたる多くの皆さんのご協力に感謝の気持ちでいっぱいです。

（広報部長 鈴木明子）

発行責任者
JAXA
（国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構）
広報部長　鈴木 明子

JAXA's編集委員会
委員長　鈴木 明子
委員　青山 剛史
寺門 和夫
山根 一眞
山村 一誠
アドバイザー　的川 泰宣

編集制作
株式会社ビー・シー・シー
2019年1月1日発行

1968▶2018 世界一美しいロケット発射場の過去、そして未来 種子島宇宙センターの50年

種子島宇宙センターで初めてロケットが打ち上げられたのは1968年。以来この50年間で、175機*のロケットが宇宙に送り出されてきました。日本が誇る、世界一美しいロケット発射場の歴史を振り返ります。

*2018年12月31日時点

文:京田 綾子

種子島宇宙センター

所在地：	鹿児島県熊毛郡南種子町 大字茎永字麻津
総面積：	約970万平方メートル
施　設：	Ⓐ大型ロケット発射場 Ⓑ小型ロケット発射場 Ⓒ総合司令棟 Ⓓ中型ロケット発射場 Ⓔ80m気象塔 Ⓕ〜Ⓘ衛星組立棟・ 衛星フェアリング組立棟 Ⓙ液体エンジン試験場 Ⓚ固体ロケット試験場 Ⓛ宇宙科学技術館 Ⓜ竹崎展望台

※このほか種子島に門倉光学観測所、宇宙ヶ丘追跡所、増田宇宙通信所がある。

9カ所の候補地から選定 種子島宇宙センターの誕生

種子島からの最初のロケット発射から2018年で50年を迎えました。科学技術庁(現文部科学省)宇宙開発推進本部がこの地を人工衛星を打ち上げるロケットの射場として選定したのは1966年のこと。同年、竹崎地区で射場の建設が始まり、1968年9月、種子島からの発射第1号となるSB-IIA-9ロケットの発射が行われたのです。

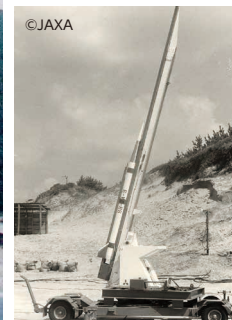
9カ所の候補地の中から種子島が選ばれた理由は、東と南に海が開け、静止衛星の打ち上げ(東向き)および極軌道衛星の打ち上げ(南向き)に対して陸上、海上、航空の安全に支障がないこと、できるだけ赤道に近いこと、交通が便利で、人員・資源・機材の輸送がしやすいことなどが理由でした。

困難を極めた
竹崎射場での最初の打ち上げ

竹崎射場での最初の打ち上げ用物資の輸送は困難を極めました。500トンの貨物船で運ばれた物資は西之表から14台のトラック隊で種子島宇宙センターへと運ばれましたが、道が狭いため、トラックは途中で電柱や民家の屋根に接触することもありました。木造の橋は補強材を敷いて渡り、ぬかるみのひどいところには砂利を入れました。このような苦い経験から輸送システムの確立が認識され、射場の建設と同時に道路・港湾の整備も進められることになりました。

宇宙開発推進本部でロケット発射を担当した山田拾馬氏は、最初のロケット発射について「その時はまだ司令管制棟はありませんでした。電話は1本あるだけ。打ち上げの際はランチャーやブロックハウス内の発射管制卓、レーダーなどの装置を自分たちがケーブルでつなぎ、発射管制卓のタイマー付きスイッチを押すという方式でロケットを発射しました」と当時を振り返ります。

翌1969年10月に宇宙開発事業団（JAXAの前身の一つ）が発足しました。射場建設の大事業は宇宙開発事業団に引き継がれ、種子島宇宙センターが発足。半世紀を経て、現在のような世界有数の大型射場へと発展を遂げたのです。

開設当時の竹崎射場の全景。1960年代後半は、SB-IIAロケット、LSCロケット、JCRロケットなどの小型実験機での技術習得がはかれられた。

1968年9月に種子島で打ち上げられた最初のロケット、SB-IIAロケット

写真左は工事中の竹崎射場の入口。右は現在の様子。

写真左は工事中の宇宙センターの入口。看板に「受付において記帳して下さい」とある。守衛もいなかった。右は現在の様子。

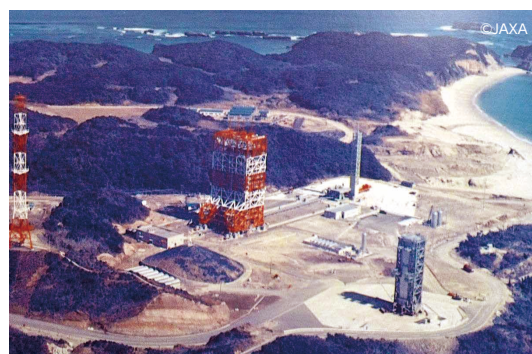
実用衛星の打ち上げを目指し
大崎地区に新しい射場を建設

実用衛星の打ち上げとそのためのロケット開発を目指す宇宙開発事業団は大崎地区で新しい射場の建設を開始し、ロケット発射の中心は大崎射場へと移行しました。大崎射場の建設と並行して、アメリカの技術を導入したN-Iロケットの開発が進められました。

1975年、技術試験衛星I型「きく」を搭載したN-Iロケット1号機が大崎射場から打ち上げられました。種子島宇宙センターに20年近く勤務し、宇宙センター所長も務めた園田昭眞氏は、美しい海に向けて広がったこの頃の大崎射場の写真を見ると、宇宙開発事業団の初代理事長だった島秀雄氏の言葉を思いだすといいます。「世界と競争してロケットを打ち上げるようになるためには、この砂浜をきれいに整備しなければならない」。

その後、宇宙開発事業団はN-Iロケットの打ち上げ能力を向上させたN-IIロケットを開発。さらに、より高い打ち上げ能力を持つ準国産ロケットH-Iを開発しました。これらのロケットはすべて大崎射点から打ち上げられました。

大型ロケット発射場から
純国産ロケットH-IIを打ち上げ

1986年、待望の純国産ロケットH-IIの開発が始まりました。H-IIロケットは第1段および2段エンジンともに液体水素・液体酸素を推進薬とする大型のロケットであるため、同年、H-IIロケット用発射場として、大崎射点に隣接した吉信地区で新たに大型ロケット発射場（大型ロケット第1射点）の建設が始まりました。第1段のLE-7エンジンの開発は難航し、打ち上げ計画は大幅に

写真左は工事中の大崎射場。右は1975年5月に完成したあとの全景。ここから同年9月9日に日本の実用衛星の先鞭となる「きく1号」を搭載したN-Iロケット1号機の打ち上げに成功した。「菊の節句」の日に打ち上げられたので「きく」と命名された。

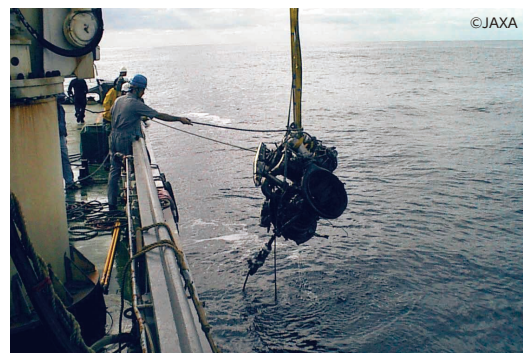
大崎射場で、射座に据え付けられ、組み立てが完了したN-1ロケット7号機。「きく4号」を搭載し1982年9月3日に打ち上げられた。

遅れましたが、1994年に軌道再突入実験機「りゅうせい」を搭載したH-IIロケット1号機の打ち上げが成功しました。

H-IIロケットはその後4回の打ち上げに成功しましたが、1998年、5号機が第2段のLE-5Aエンジンの不具合により、通信放送技術衛星「かけはし」を所定の軌道に投入することができませんでした。さらに1999年、8号機の打ち上げで第1段のLE-7エンジンに不具合が発生しました。衛星打ち上げが成功する見込みがないとの判断から、初の指令破壊が行われました。

宇宙開発事業団にとって厳しい試練の日々でした。失敗の原因の徹底解明が進められ、2000年には海洋科学技術センター（現海洋研究開発機構）の協力を得て、小笠原沖水深3,000mの海底から不具合を起こしたエンジンを回収しました。原因が究明され、その結果はすでに開発が進んでいたH-IIAロケットに反映されたのです。

2001年、H-IIAロケット試験機1号機の打ち上げに成功しました。

1994年2月4日に打ち上げられたH-IIロケット1号機。軌道再突入実験機「りゅうせい」とH-II性能確認用ペイロード「みょうじょう」を搭載した。

水深3,000mの海底から回収されたH-IIロケット8号機のエンジン。

H-IIロケット8号機の失敗を乗り越え、新たに開発された2001年のLE-7Aエンジン完成の記念撮影。

3機関が統合しJAXA発足 大型ロケット第2射点を建設

2003年10月、3機関が統合し、JAXAがスタート。日本の宇宙開発の新しい時代が始まりました。しかし同年11月、H-IIA6号機は2本の固体ロケットブースターのうち1本が分離せず、打ち上げは失敗しました。原因究明と改善が行われ、2005年、H-IIAは打ち上げを再開しました。以後、現在まで連続34回打ち上げに成功し、高い信頼性を実証し、低コストで多様な人工衛星や探査機の打ち上げを行っています。

1997年にH-IIAロケット用発射場として改修された大型ロケット発射場（大型ロケット第1射点）は、現在もH-IIAロケットによる衛星打ち上げに使用されています。さらにH-IIAロケットの打ち上げ能力を高めたH-IIBロケットによる宇宙ステーション補給機および静止4t級衛星を打ち上げることができるように大型ロケット第2射点の建設が始まりました。2009年、宇宙ステーション補給機「こうのとり」1号機を搭載したH-IIBロケット試験機が第2射点から打ち上げられました。H-IIBは、以来2018年の7号機まで、連続して打ち上げに成功しています。

次世代ロケット H3ロケットへたすきをつなぐ

JAXAは現在、次世代基幹ロケットH3を開発中です。H3ロケットは2020年度に試験機1号機の打ち上げを予定しています。これにともなって、吉信エリアでは射場設備の新設や改修が行われます。半世紀にわたり、日本の主力ロケットとともに日本の宇宙開発の屋台骨を支えてきた種子島宇宙センター。今後も進化を遂げながら人工衛星打ち上げの中心的な役割を果たしていきます。

山田 拾馬（やまだ じゅうま）

元科学技術庁宇宙開発推進本部時代から種子島でのロケット打ち上げに携わってきた山田拾馬さん。真夏の砂浜をランチャーまで通信ケーブルを引っ張ったり、構内の移動は10台ほど用意した自転車を使うなどインフラが整っていない当時、一番苦労したのは「水」の確保だという。まだ水道が通っておらず「浜の湧き水を使ったが、塩分濃度が高く、配管が腐らないよう苦心した」。

園田 昭眞（そのだ しょうしん）

固体ロケットから液体ロケットへの切り替え、また、世界一美しいロケット発射場への道筋を作った島秀雄元理事長には「先見の明があった」と語るのは、元宇宙センター所長の園田昭眞さん。環境整備が整えられたのは、1977～78年ころとか。緑化にも苦労したそうで、「砂漠の植物を何株かもってきて増やしたけど、最終的になじまなかった」。

理事・第一宇宙技術部門長 布野 泰広（ふの やすひろ）

H3ロケットは、50年間にわたり種子島宇宙センターから打ち上げたロケットの運用経験、先輩たちが残してくれた教訓をすべて注ぎ込んで、輸送システムの革新を目指し開発を進めているロケットです、と語るのは理事の布野泰広。「今まさに開発の正念場を迎えています。2020年の試験機の打ち上げ成功を目指し、第一宇宙技術部門をあげて全力で取り組んでいます」。

種子島宇宙センター所長 藤田 猛（ふじた たけし）

この50年で種子島宇宙センターとロケットは目覚ましい発展を遂げた、と胸を張る藤田猛。「世界一優秀といえるロケットを支える世界一美しいロケット発射場へと成長しました。これはひとえに地元の方々をはじめとする関係者のご尽力とご協力の賜物です。これからも宇宙への玄関口としてその役割を果たせるように皆さんとともに協力していきます」。

N-Iロケット1号機打ち上げ後の祝賀会（1975年9月9日）。園田昭眞氏によると「消防団など協力してくれた地元の方々がみんな参加しています」。開設当初から地域と一体となった運営がされてきた。後ろ姿は宇宙開発事業団初代理事長の島秀雄氏。

射場が自然環境と共存
地元とともに歩んだ50年

青い海と白い砂浜、緑の山に囲まれた自然豊かな種子島宇宙センターは、世界一美しい発射場といわれています。その理由は、射場の整備と運用を自然環境と共存しながら進めてきた点にあります。

同時に種子島宇宙センターは地元の方々と一緒に歩んできた発射場でもあります。宇宙開発事業団地上設備設計グループで大崎射場の設計に携わり、建設当時を知る春山幸男氏によると、1973年頃、大崎射場の建設現場までは車で険しい山道を行くしかなかったといいます。大崎射場の建設のために集落ごと移転をされた大崎集落の方々は「その頃はだんだんと山や田んぼがなくなり、ふるさとである先祖代々住んできた土地が変わっていくことに寂しさを感じました。しかし、今はふるさとが大崎だと胸を張って言えます」と語ります。N-Iロケット1号機の打ち上げを見たときは、とても感動したそうです。

大崎射場のロケット組立棟前広場で行われたN-Iロケット1号機打ち上げ成功の祝賀会を、園田氏も春山氏もはっきりと覚えていると言います。「種子島の焼酎も持ち込まれ、地元の多くの皆さんが一緒に成功を祝ってくれました」。

種子島宇宙センターと地元の架け橋を担ってきた南種子町役場の方にも話を聞きました。「何年もかけて細やかに丁寧にお互いに納得する道筋をつけてきたことで、住民の方の宇宙開発への理解を深めることができたと思います。私たちは地元にいて慣れっこになっていますが、打ち上げを見に来られた方がワーッと歓声を上げて拍手し、感動しているのを見ると、あらためて宇宙開発のすごさを感じます」。

発射場建設のため、移転した大崎集落の皆さん。「田舎はどこかと聞かれたら、あそこ（大崎発射場）ですと言います」。地元の協力が、日本の宇宙開発を陰から支えている。

JAXA職員の常宿でもあるホテル「門倉亭南荘」の日高広太郎さん、恵子さん。「1967年の測量から始まり、建設、ロケット打ち上げに至るまで、この50年間にお客様をたくさん受け入れさせていただきました。ロケットとともに歩んできたといっても過言ではありません」。打ち上げスタッフの女性が心労と過労で明け方に急に具合が悪くなり、恵子さんが2階からおぶって病院まで運んだこともあるなど、思い出は尽きないそう。

「（住民も）宇宙開発に対する理解を十分深めていると思います」と語るのは、南種子町役場の小脇隆則さん（写真右）と石堂裕司さん。

南種子町の街中にはロケット型のモニュメントも。町と宇宙センターが積み重ねてきた歳月の証し。

種子島空港のロビーには、打ち上げ成功を祝う幕と、歴代のロケット打ち上げ写真が飾られていた。

特別公開は来場者にとって宇宙開発の現場をリアルに感じる貴重な機会に。巨大なロケット組立棟にも大勢の人が訪れた。組立棟の1枚扉は世界最大とギネスブックで認定されたこともある。

記念式典で特別講演を行った油井宇宙飛行士。多くの小学生からたくさんの質問があった。油井飛行士は翌日の特別公開でも講演を実施した。

祝50周年!
記念イベントを開催

種子島宇宙センター50周年を記念して、2018年11月24日と25日に記念イベントが行われました。24日は地元団体への感謝状贈呈や油井亀美也宇宙飛行士の特別講演などの「50周年記念式典」が南種子町福祉センターで開催されました。25日は種子島宇宙センターの特別公開が行われ、ふだんは自由に立ち入れない施設の見学ができるということで多くの来場者でにぎわいました。

特別公開の際に竹崎グラウンドで行われた50周年記念撮影。来場者が50の人文字を作ったところを上空から撮影。当日は太鼓やダンスなど地元団体のパフォーマンスも披露された。

記念式典での商工会など地元団体への感謝状贈呈式。

小型回収カプセル、ミッション成功!
そこにはオールジャパンの研究成果が詰まっていた

JAXAは宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)で国際宇宙ステーション(ISS)に物資を補給しています。6号機までは物資を届けるだけでしたが、7号機では、大気圏再突入の機会を利用し、ISSからの物資回収技術の実証実験が行われ、小型回収カプセルが無事、ISSでの実験で得られたサンプルを地上に持ち帰りました。今回のミッションの目的や成果、その背景にあるJAXAの研究について、キーパーソン2人に話を聞きました。

取材・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

鈴木 裕介(すずき ゆうすけ)
チーフエンジニア
第一宇宙技術部門
宇宙輸送技術統括
H3プロジェクトチーム併任

田邊 宏太(たなべ こうた)
有人宇宙技術部門
HTV技術センター
技術領域主幹
HTV搭載小型回収カプセル開発チーム長

分離から回収までの間は祈るような気持ちに

——大気圏に再突入したカプセルが回収されるまで、手に汗を握る瞬間の連続だったのではないですか。

田邊　そうですね。ISSから分離された「こうのとり」7号機が再突入のための最後のエンジン噴射をし、その後、向きを180度反転させて小型回収カプセルを切り離したのは、11月11日午前6時24分でした。高度は約300kmです。カプセルの分離がうまくいったことは「こうのとり」からのデータで確認できました。しかしカプセルからは常時データが降りてくるわけではないので、分離後は祈るような気持ちで待つしかありませんでした。

——カプセルから最初のデータが届いたのはどのポイントですか。

田邊　パラシュートが開いた時です。6時50分にパラシュートが開き、カプセルからのデータを受信した時には、管制室に最初の歓声が上がりました。そこからは数分ごとにデータが送られてきて、7時4分に着水しました。着水して浮袋が開き、位置を知らせるデータが来た時に、また大きな歓声が上がりましたが、カプセルを船で回収するまで安心はできません。10時25分に回収完了の報告を受けた時、やっと成功したという気持ちになりました。

——とても長い時間に感じられたのでは?

田邊　分離してから回収完了まで気の休まる瞬間はなかったですね。ただし、一つ一つのイベントをクリアしていくごとに、これはうまくいくという実感が強まっていきました。

揚力誘導制御と軽量の熱防護 二つの技術が有効と実証

——今回のミッションで難しかった点は何ですか。

田邊　今回の小型回収カプセルで実証しなくてはならない技術が二つありました。一つ目は揚力誘導制御です。カプセルが受ける加速度を4G以下になるように姿勢制御しながら飛行し、目的の領域に着水させる技術です。

——どのぐらい難しい技術なのでしょうか。

田邊　弾道飛行での再突入は「はやぶさ」をふくめ、これまで何回か行っていますが、地球周回軌道からの揚力誘導は今回が最初です。揚力誘導ではカプセルの姿勢を飛行面内(ダウンレンジ方向)と飛行面外(クロスレンジ方向)の両方向での制御をしながら目的の場所に誘導させなくてはなりません。シミュレーションをずいぶん行いました。今回、実際に飛行してデータがとれましたので、これを詳細に分析していこうと思います。

——二つ目は何ですか。

田邊　軽量の熱防護技術です。カプセルが大気圏に再突入する際には非常な高温になります。そこで、カプセルの表面にアブレーターとよばれる熱防護材を取り付けて熱防護を行います。今回のカプセルでは比重が約0.3という世界最高レベルの非常に軽量な熱防護材を使用しました。「はやぶさ」の熱防護材の5分の1という軽さです。

——二つの技術が有効であることが実証されたわけですね。

田邊　そうですね。カプセルは揚力誘導でちゃんと予測範囲に降りてきましたし、アブレーターもあまり損傷を受けておらず、中の実験サンプルも無事でした。

——どんなサンプルが入っていたのですか。

田邊　2種類ありました。一つはタンパク質の結晶、もう一つは静電浮遊炉の材料実験に関するサンプルです。高品質タンパク質結晶生成実験で得られたサンプルは4℃に保冷しながら地上に持ち帰る必要がありました。そこで、サンプルを収める容器を、魔法瓶が内側と外側に二つ重なるような構造にしました。またサンプルがダメージを受けないように再突入時の加速度も4G以内に抑えることができました。持ち帰ったサンプルを実験ユーザーさんにお渡しして分析してもらっていますが、ダメージは受けておらず、きれいな結晶ができている写真が公開されています。

「Aviation Week&Space Technology」誌のカバーに掲載されたHTV-Rのイラスト。

――次のカプセルをどうするか、検討していますか。

田邊　そういう議論がまさに進行中です。実験ユーザーさんからは、回収頻度を上げて、自分たちが好きなときに実験して、好きな時に回収したいという要望があります。「こうのとり」がないと回収できないのでは利便性がよくないので、カプセルにミニチュア版「こうのとり」のような軌道離脱モジュールを付けて、カプセルのシステムだけで再突入し、帰還する仕組みにできないか考えているところです。

初号機成功後から推進
国産での技術開発に挑む

――今回の成功に至るまでのJAXAでの研究の経緯をうかがいたいと思います。

鈴木　「こうのとり」の初号機が成功した後、2010年に宇宙ステーション回収機研究開発室が発足しました。次にやるべきは宇宙からの帰還技術であると考え、研究を始めたのです。揚力誘導制御と軽量アブレーターの熱防御システムがキー技術となることは、この時から分かっていました。外国から買ってくることができない技術なので、国産の技術を開発しなければなりません。

カプセルをどういう形状にするかは、カプセルの容積、得られる揚力、再突入時の空力加熱がどれぐらいになるかなど、いろいろな要素が利いてきます。空力特性をちゃんと測らなくてはいけないので、風洞試験をずいぶん行いました。この研究は有人部門で発足したのですが、全JAXAで協力して取り組むことになりました。調布にあるいくつもの風洞や角田の高温衝撃風洞を使って極超音速、超音速、遷音速、亜音速までたくさんのデータをとりました。同時に調布ではスパコンを使った数値計算解析も行いました。

――熱防護材についてはどうでしたか。

鈴木　調布と宇宙研のアブレーター試験施設で何回も試験しました。軽い熱防護材でないと、将来有人宇宙船に使うときにサイズが大きくなり、非常に重くなってしまいます。目標を比重0.4以下としていましたが、最終的にさきほどの比重0.3という熱防護材が開発されたのです。

JAXAと企業、大学が結集
日本のものづくり力の成果

――こうした研究がHTV-R(回収機能付加型宇宙ステーション補給機)という構想になったのですね。

鈴木　HTV-Rは当初、3種類のオプションを考えていました。小型のカプセルがオプション0、「こうのとり」の曝露パレットに積みこむ中型のカプセルがオプション1、「こうのとり」の与圧部全部を回収カプセル化するのがオプション2でした。宇宙からの物資の回収を考えていましたが、将来の有人宇宙船につながる技術を確立していくことが目標だったので、与圧部全体をカプセル化することも考えたのです。

――オプション2のイラストはアビエーションウィーク&スペーステクノロジーという雑誌の表紙に掲載され、話題になりました。

鈴木　私たちの研究の一つの成果でしたね。この研究はJAXA有人部門だけで行ったわけでなく、JAXAの他部門、さらには大学や企業も参加し、オールJAXA、オールジャパンで研究した成果が詰まっているのです。3年をかけた研究の成果は、その後、この小型回収カプセルに引き継がれ、サイズは小さいけれど揚力誘導制御と軽量アブレーターを実証することになりました。

――当時考えていたオプション0が実現したわけですね。今回のカプセル回収をどんな気持ちで見ていましたか。

鈴木　本当に感無量でした。素晴らしい成果です。

田邊　JAXAは幅広い宇宙技術をもっていますが、帰還技術が欠けていました。今回の小型回収カプセルで少しはそれを埋めることができたのではないかと思います。

――宇宙ステーション回収機研究開発室での研究の最終ターゲットは有人宇宙船にあったわけですね。今後、どのように研究を進めていきたいと考えていますか。

鈴木　今、世界の宇宙探査は動きが非常に活発になっています。JAXAでは現在、HTV-Xという「こうのとり」の次の宇宙船を開発中です。地球低軌道での運用だけでなく、HTV-Xを活用して月に行くという構想もあります。私たちはいつか日本の有人宇宙船を実現したいと考えていますので、そこにつながるような議論をまた始められたらと思っています。

カプセルが回収されるまで

©JAXA/NASA

ISSからの放出位置へ移動される「こうのとり」7号機。小型回収カプセルが取り付けられているのがよく分かる。(2018年11月7日)

©JAXA

「こうのとり」からのカプセル分離の成功に拍手するHTV運用管制官たち。(11月11日)

©JAXA

©JAXA

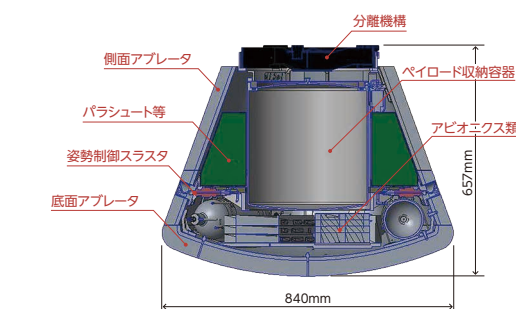
小笠原諸島南鳥島沖洋上で回収される小型回収カプセル。(11月11日)

©JAXA

©JAXA

(左)回収船内で真空二重断熱容器からタンパク質結晶生成実験サンプル収納容器を取り出す様子。(右)取り出されたタンパク質結晶生成実験サンプル収納容器。(11月12日)

©JAXA

航空機で輸送され、筑波宇宙センターに到着した回収サンプル。(11月13日)

小型回収カプセルの構成

©JAXA

世界の気候変動対策に貢献する

JAXAの地球観測衛星

まつうら なおと
松浦 直人
第一宇宙技術部門
宇宙利用統括 兼務
地球観測研究センター長

温室効果ガス観測技術衛星2号「いぶき2号」(GOSAT-2)の運用が新たに開始されました。世界で気候変動対策への取り組みが叫ばれる中、温暖化とその影響を監視したり理解したりするためのデータを取得する観測機器を搭載したJAXAの地球観測衛星が果たすべき役割はより大きくなっています。各衛星が担う役割と、複合的に地球を観測することで可能となるJAXAの世界への貢献を、第一宇宙技術部門の松浦直人宇宙利用統括/地球観測研究センター長に聞きました。

取材・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

温室効果ガスを宇宙から測定 世界の温暖化対策に寄与

——世界が気候変動対策やSDGs(持続可能な開発目標)の達成に取り組む中、JAXAの地球観測衛星がどのような貢献を果たしているかについて、うかがいたいと思います。

松浦　JAXAはNASDA(宇宙開発事業団)の時代を含め30年以上にわたって人工衛星による地球観測を行ってきました。現在は温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)、「いぶき2号」(GOSAT-2)、気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)、水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W)、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)、さらにはNASAのGPM主衛星に搭載されている全球降水観測計画/二周波降水レーダ「GPM/DPR」を運用中で、大気、陸域、海域、水、雪、氷などのさまざまな情報を手に入れています。最近では地球観測衛星のデータ利用は、地球の状態を理解したり監視したりするだけでなく、実際の政策に役立てるところまでステージが上がりつつあります。

——その点でいうと、まず「いぶき」と「いぶき2号」についてお話しいただくのがいいですね。

松浦　「いぶき」はJAXAが2009年に打ち上げた、宇宙から温室効果ガスである二酸化炭素やメタンを専門に観測する世界初の衛星です。現在も運用中です。2018年10月に打ち上げた「いぶき2号」は「いぶき」をパワーアップさせた後継機です。「いぶき」はこれまでの観測で、宇宙から全球の温室効果ガスの分布を観測することが可能であることを実証してきました。

温室効果ガスの観測は地上からでも可能ですが、その場所でのデータしか得ることができません。広い分布や国別の吸排出量を知ろうとすると、宇宙からの観測が必要になります。各国がどれだけの温室効果ガスを排出し、吸収しているかが分かるところまでくれば、温暖化対策の政策決定に使うことができるという認識が高まり、今では各国が競い合うようにして温室効果ガスを観測する衛星を打ち上げています。こうした動きに先鞭を付けたという意味で、「いぶき」が果たした役割は大きいと思います。

——今後、衛星による温室効果ガスのデータはどのように使われていくのでしょうか。

松浦　「パリ協定」では各国に対し、どのくらいの量の温室効果ガスを排出しているかの目録(インベントリ)を報告することを求めていますが、各国は、自国の報告が正しいことを自ら評価しなくてはなりません。そのためには公平な物差しがないといけませんし、透明性も確保されなければなりません。衛星データはすべて公開され、かつ誰もが自由に使うことができますから、そのようなツールとして最適であると私たちは考え、他の宇宙機関と連携して世界に働

運用中の主な地球観測衛星

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)

©JAXA/NIES/MOE

「いぶき」が観測した、2015年2月1日の地上付近の二酸化炭素濃度。

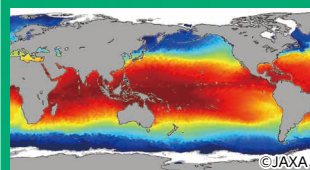
主な観測対象:二酸化炭素、メタンなどの濃度分布
打ち上げ日:2009年1月23日

温室効果ガス観測技術衛星2号「いぶき2号」(GOSAT-2)

主な観測対象:二酸化炭素、メタン、一酸化炭素
打ち上げ日:2018年10月29日
※観測データ画像は今後取得予定

水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W)

©JAXA

「しずく」が観測した2018年12月3日から9日の海面水温。

主な観測対象:地表や海面、大気中の水蒸気などから放射されるマイクロ波
打ち上げ日:2012年5月18日

きかけてきました。現在、活発な議論が行われているところです。GOSATが打ち上がってほぼ10年がたち、ようやくそういったところまでたどり着きました。

2019年5月にはIPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第49回総会が京都で開催され、インベントリの算定方法の改良に関する報告書がまとめられる予定になっています。IPCCはこれまで衛星データはまだ使えないとしてきましたが、この報告書で衛星データがインベントリの評価に有効であることが示されることを私たちは期待しています。

そして、2023年からは、「パリ協定」の目的達成に向けた全体的な進捗状況を、5年おきに確認・評価していくことが決まっています。全球での観測が可能な人工衛星は、「パリ協定」におけるこのような仕組みにも、貢献できると考えています。

気象予報や漁業など さまざまな産業に貢献

——世界の水循環を観測している「しずく」のデータはどのように利用されていますか。

松浦　まず気象庁に使っていただいて、気象予報の精度向上に大きく貢献しています。最近では衛星データを水蒸気の量や水温に変換せず、衛星データそのものを予報モデルに入れることが行われています。気候変動や気象予測のシミュレーションは地球表面を格子(メッシュ)で分け、数値モデルと呼ばれるソフトウェアで計算しています。最近は数値モデルの格子も細かくなり、衛星データの解像度と合うようになってきました。そのため、衛星データをそれほど加工しなくても数値モデルで直接使えるようになり、精度の高い予測が行われています。

——すると、私たちが毎日利用している天気予報の精度向上に「しずく」が貢献しているということですね。

松浦　はい、その通りです。それからもう一つ例をあげると、漁業者の方々が「しずく」のデータを使っています。海面水温の広い分布が見えるので、良い漁場を探すことができるのです。さらに研究目的では、土壌水分とか、積雪の深さ、海氷の分布、降水量などのデータが気候変動プロセスの解明に役立っています。

複数の衛星データを組み合わせれば 気候変動を正確にとらえられる

——2017年に打ち上げた「しきさい」のデータリリースが始まりましたね。

松浦　「しきさい」は大気・海洋・陸域・雪氷とたくさんの種類のデータがとれる素晴らしい観測センサを搭載しています。分解能は250mなので、全世界をかなり細かい所まで観測し、世界に情報提供できます。

——「しきさい」で分かる情報の例をいくつか挙げていただけますか。

松浦　一つは地表面の温度です。2018年の夏はひどく暑かったですね。その酷暑の様子をとらえた「しきさい」の試験データを公開したところ、大きな反響がありました。それからエアロゾルです。「しきさい」は大気中の微小粒子や汚染物質の移動を細かくとらえることができます。あとは海の色が見えるので、植物性プランクトンの量から海洋の生産量を把握したり、にごりの状況を調べたりすることができます。

——「だいち2号」の合成開口レーダのデータについてはいかがでしょうか。

松浦　「だいち」や「だいち2号」に搭載されたLバンド(周波数1.2ギガヘルツ)の合成開口レーダは森林の観測に適しており、日本が得意な観測センサの一つです。JAXAは全世界の森林のモニタリングを20年以上続けており、森林の減少、つまり二酸化炭素を吸収する源がどれだけ減っているのかをモニターしています。この情報は世界中に提供していますし、JICAと協力して違法伐採の抑止にも役立たせていただいています。また波長が比較的長いため、森林を透過して地表面まで届くので、地表の変化をとらえることができます。日本には110の活火山があるのですが、そのうちの半分は「だいち2号」で常時モニターしています。山体が膨張して噴火の兆候が見えてきたときの予報や警報を出すアクションにまでつながるところまで来ています。

——気候変動の監視にはいくつかの衛星データを複合して利用する必要もありますね。

松浦　例えば世界の森林分布は「だいち2号」のデータで分かりますが、そこにどのぐらい二酸化炭素を吸収する森林があってどのぐらいバイオマス量があるかを把握するためには、そこがどういう植生になっているかを知らなければいけません。それには「しきさい」の観測データが必要です。また、二酸化炭素やメタンがどこから出ているのかは「いぶき」や「いぶき2号」で測るわけですが、そこが水田なのか、牧草地なのかといった情報も重要になってきます。これも「しきさい」を使って情報を統合していかなければいけません。

——「しきさい」と他の衛星のデータを組み合わせると、いろいろなことが分かってくるのですね。

松浦　はい、そうなります。

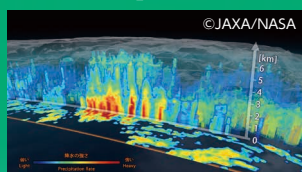
政策決定者のみならず多くの国民に 衛星データを見てもらいたい

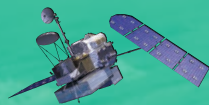
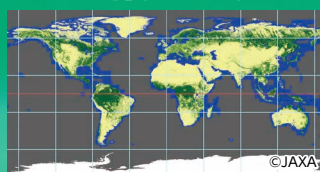
——日本は雨を観測するレーダも得意ですね。

松浦　最近、雨の降り方がかなり異常になってきていることに多くの方が気付いていると思います。私たちもその状況を正確に把握したいと思っており、二周波降水レーダ(DPR)で降雨の立体的な構造を見ることは重要です。現在開発中の「EarthCARE」では雲の立体構造も分かるようになります。雲と雨と同時に観測すれば降雨の構造や、雲から雨が生成される仕組みがより鮮明に分かり、これが温暖化とどう関係してくるかも分かってくると思います。

——衛星データを社会により有効に利用してもらうためには、今後どのようなことが必要とお考えですか。

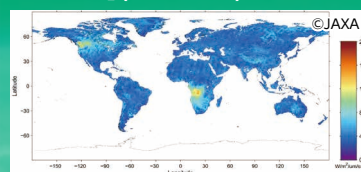
松浦　二つあると思っています。一つは温室効果ガスの例に代表されるように政策決定者に情報を提供したり、国の機関や地方自治体でより有効に使っていただくために、もっと分かりやすい形でデータを提供できるように工夫することです。二つ目は、衛星データを国民の皆様に視覚的に分かりやすい形でもっと見ていただくようにすることです。地球の気候が変わってきていることを身近なこととして皆様に知っていただくことは、次の行動につながると思い、私たちの非常に重要な役割と考えています。

全球降水観測計画/二周波降水レーダ「GPM/DPR」

二周波降水レーダ(DPR)による降水の三次元分布

主な観測対象：降水の分布、雨の強さ
打ち上げ日：2014年2月28日

陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)

2017年全球森林・非森林マップ(「だいち2号」が観測した世界森林マップ)。

主な観測対象：被災地の情報把握、国土情報の継続的な蓄積・更新、農作地の面積把握、森林
打ち上げ日：2014年5月24日

気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)

2018年8月13日から19日の森林火災によるエアロゾル(「しきさい」がとらえた森林火災の煤)。

主な観測対象：エアロゾル(ちり)や雲、二酸化炭素を吸収する陸上植物や海洋プランクトンなどの分布
打ち上げ日：2017年12月23日

久保田孝「はやぶさ2」プロジェクト スポークスパーソンに聞く

久保田 孝（くぼた たかし）
宇宙科学研究所
研究総主幹／宇宙機応用工学研究系教授
「はやぶさ2」プロジェクトチーム スポークスパーソン
宇宙探査イノベーションハブ　ハブ長

伝えることの楽しさと難しさ

「はやぶさ2」プロジェクトチームでミッションの目的や探査機の最新状況などを伝える役割を担う久保田孝「はやぶさ2」プロジェクトチーム スポークスパーソンに、JAXAの仕事を外部に伝える時の工夫や思いを中心に聞きました。

取材・文：寺門 和夫（科学ジャーナリスト）／中浦 陽子

開発のプロセスを含めて、挑戦することの大切さを共有したい

――「はやぶさ2」プロジェクトではどのような役割を担当されていますか。

久保田　二つあります。一つは「はやぶさ2」プロジェクトのスポークスパーソンです。プロジェクトのミッション目的や機能、探査機に今何が起きているかなどを国民に伝える機会をできるだけ多く設け、メディアを通じて説明をする役割をしています。「はやぶさ」の時には、的川泰宣先生が広報を担当していましたが、川口淳一郎プロジェクトマネージャもその都度対応していました。しかし、プロジェクトマネージャはミッション中、現場に張り付いていなければならないことも多いので、今回、スポークスパーソンという役割をつくったのです。もう一つは探査ローバMINERVA-IIの担当です。

――「はやぶさ2」の記者説明会では津田雄一プロジェクトマネージャや吉川真ミッションマネージャと一緒にプロジェクトの進捗状況を報告しています。3人の間でどのような役割分担をしていますか。

久保田　吉川真ミッションマネージャと私がスポークスパーソンです。吉川真ミッションマネージャは主にサイエンスを、私は工学・技術を担当しています。「はやぶさ2」の大きなイベントやクリティカルな運用の際には、津田プロジェクトマネージャにも報告をしてもらっています。「はやぶさ2」の情報はウェブでも公開していますが、分かりにくい専門用語などもあるので、そういう点も含めて記者説明会という形をとり、すぐに流すようにしています。海外に対しても、英語版の資料を迅速に発信することを心がけています。

――「はやぶさ2」は国民の関心が非常に高いプロジェクトです。どのようなことを国民に伝えたいと考えていますか。

久保田　「はやぶさ2」ミッションの目的や意義だけでなく、私たちが

どのように考えて探査機を開発し、運用しているのかというプロセスも含めて、皆さんに知ってもらいたいと思っています。「はやぶさ2」は今、リュウグウにタッチダウンしてサンプルを採ろうとしているところです。「はやぶさ2」がどのようなチャレンジをするかを見ていただき、挑戦することの大切さを感じとってほしいのです。チャレンジをすれば困難もあるし、時には失敗もあります。私たちのチャレンジをぜひ共有していただき、皆さんの生活に活かしてほしいと考えています。そのためにも、「はやぶさ2」の状況をできるだけ早く、正確に、かつ分かりやすく伝えることが大切だと思っています。

—— 科学的あるいは技術的に難しいことを説明しなくてはならない場合、どのような工夫をして話をしていますか。

久保田　やはり目で見ていただくと分かることが多いので、なるべく画像や動画、場合によっては模型を使うようにしています。また、身近なものにたとえることも心がけています。ただし、やさしく説明するだけでなく、難しいことは難しいという前提で、子供たちに少しでも関心を持ってもらえるように伝えたいと思っています。簡単に説明し過ぎてしまうと「そんなものか」と思われてしまいます。それよりも、子供たちに難しいことなりに関心をもってもらい、将来自分で勉強してもらえればいいと思います。

感無量だった MINERVA-Ⅱ1からの画像

——「はやぶさ2」の現在の状況をお話しください。

久保田　「はやぶさ2」はタッチダウンに向けた3回目のリハーサルで高度12mまで降り、非常に難しい所に降りる練習をしたところです。現在はリュウグウから少し離れた安全な場所で合(ごう)（探査機が太陽と同じ方向にあるため通信不可の期間）運用を行っています。3回のリハーサルで色々な情報が得られました。現時点では2019年1月後半以降と考えているタッチダウンに向けて、航法誘導制御の確認や地形の凸凹の判断、タッチダウンのシーケンスの確認など、さまざまな検討を行っています。

——「はやぶさ」ミッションで担当されたMINERVAはイトカワに着陸することができませんでした。「はやぶさ2」のMINERVA-Ⅱ1がリュウグウ着陸に成功したときは、どのようなお気持ちでしたか。

久保田　小惑星表面での探査は、今から20年ほど前に「はやぶさ」の初期検討が行われた頃からの夢でした。「はやぶさ」に搭載したMINERVAは、残念ながら分離のタイミングが悪く小惑星表面に着陸できなかったので、再チャレンジのためMINERVA-Ⅱ開発に携わり、環境試験や無重力実験などを担当しました。ですからMINERVA-Ⅱ1が着陸に成功した時には、目標がようやく達成できたという安堵感がありました。着陸後、リュウグウの上でホップしたMINERVA-Ⅱ1のローバ-1Aが撮影したカラー画像が届いた時には感動しました。もう何も言えなかったですね。

—— 時にはJAXAにとってきびしい状況も国民に伝えなくてはなりません。X線天文衛星「ASTRO-H」に異常事象が発生した際に、記者説明会で心がけたことは何だったでしょうか。

久保田　記者説明会では、明らかになったことは完全ではなくてもその都度説明するようにしていました。X線天文衛星は国内外を問わず科学の世界で非常に注目度の高いミッションです。日本で説明会を行った後、海外にもきちんと説明するという段取りを取っていました。説明会は、私たちの何がいけなかったかを確認する場でもありますので、そういったプロセスを全部見てもらい、専門家や政府の委員会の方々だけでなく、メディアの方からいろいろ質問やご意見を頂くことは非常に大事だったと思います。

©JAXA

企業との共生と JAXAの人材育成の重要性

—— 現在、宇宙探査イノベーションハブのハブ長もされています。宇宙探査イノベーションハブでは企業の方々ともコミュニケーションを取らなくてはなりません。何か難しいことはありますか。

久保田　宇宙探査イノベーションハブは、地上の技術と宇宙の技術を融合して将来の探査ミッションや地上のビジネスに役立てたいという目的で始め、4年目になります。企業にはそれぞれの方針もありますし、ビジネスを第一としていますから、JAXAの活動とは異なる点もあるので、コミュニケーションがとても大切だと思っています。こちらから動くことも大切なので、国際会議や国内会議、展示会などに出向いて情報共有をすると共に、「こういう技術がないですか」といった問いかけも行っています。新しいものを作るという観点では同じ方向を向いていますので研究開発は楽しいですね。事業化という点では、いろいろな事情を勘案して進める必要があると感じています。

—— 宇宙科学研究所の研究総主幹としては、どんな仕事をされていますか。

久保田　宇宙科学研究所には、研究系が五つあり、理学と工学あわせて、約120名の研究教育職員が在籍しています。プロジェクトの推進と学術研究と教育の三つをバランスよく進めるのが私の役割です。各分野がうまくまわり、新しいミッションと世界一流のサイエンスを創出し、若い人材の育成が順調にいくように旗をふりつつ、相談にものり、モティベーションを高める環境作りをしています。育成した人材は日本の財産になりますし、日本だけでなく世界の財産になるわけですから、優秀な人材の育成は大変重要だと思っています。

小惑星リュウグウに着陸したMINERVA-Ⅱ1が移動中（ホップ中）に撮影した画像。画面左側がリュウグウの表面。右側の白い部分は太陽光によるもの。

©JAXA

2017年度でaFJRプロジェクトによる技術開発が完了しました。西澤敏雄 元・aFJRプロジェクトマネージャに、得られた成果や今後の展望、En-Coreプロジェクトへの期待などについて話を聞きました。

取材・文:田中 令以知

国産ジェットエンジンが日本の空を飛ぶ日を目指して

高効率軽量ファン・タービン技術実証(aFJR)プロジェクトの意義と成果

航空産業の競争力強化につながる実用性の高い設計技術を獲得

——aFJRの研究開発の対象となった高バイパス比ターボファンエンジンとはどのようなものでしょうか?

西澤　旅客機に使われているターボファンエンジンは、エネルギーを発生するコアエンジンの前方にファンを取り付けた構造になっていて、コアエンジンに入らずに流れる空気も推進力を発生させています。ファンの口径を大きくして、コアエンジンをバイパスする空気を大量に流すと、燃費がよくなり、騒音も低くなります。そのため、高バイパス比ターボファンエンジンは現在の航空機用エンジンの主流を占めています。

航空機用ジェットエンジンはさらなる燃費の向上を強く求められています。そこで、ファンの口径をさらに大きくするとともに、ファンやそれを駆動するための低圧タービン部分の効率を高め、ファンの大口径化とともに増えるエンジン重量そのものの軽量化を図ることが技術的な課題となっています。

——aFJRにいたるJAXAのジェットエンジン開発の経緯について教えてください。

西澤　1970年代から1980年代、当時の通商産業省(現経済産業省)のプロジェクトで「FJR710」という航空機用エンジン開発の取り組みがありました。日本の高バイパス比ターボファンエンジンの開発の最初といえるもので、実際のエンジンを作って最終的にはSTOL実験機「飛鳥」に搭載して飛ばしました。このエンジン開発がきっかけとなってその後、日本の航空機用エンジンメーカーは欧米との「V2500」エンジンの国際共同開発に参画を果たしました。

「V2500」エンジン開発以降、複数のエンジン国際共同開発において日本はファンと低圧タービンと呼ばれる部分を歴史的に担当してきており、世界の航空機用エンジン開発市場において生産高でも第5位という位置を占めるまでになりました。aFJRプロジェクトもこの系譜に沿って、さらなる高バイパス化が進む次世代エンジン開発の中で、世界でも競争力のある技術を獲得するとともに、将来もこの産業基盤を維持していけるように、という狙いで始まりました。

——aFJRプロジェクトでは具体的にどのような研究開発に取り組んだのですか?

西澤　ファン部分の空気力学的な損失を減らすために、CFD(数値流体力学)技術を活用して非常に効率の良い形状を追求するとともに、複合材技術を活用してファンブレード、タービンブレードや吸音ライナの軽量化につながる技術コンセプトを開発し、実際に供試体を作って実証試験を行いました。それぞれ所期の目標を達成して、実用性の高い設計技術を獲得することができました。「PW1110G」のような最新鋭エンジンに対して、燃費換算で1%向上に相当する具体的な数値目標をかかげていましたが、これを達成しています。

にしざわ としお
西澤 敏雄
航空技術部門
推進技術研究ユニット
ユニット長

初の純国産大型ファンジェットエンジンFJR710の前に立つ西澤ユニット長。

ファン　圧縮機　燃焼器　低圧タービン
高圧タービン　バイパスする空気

ターボファンエンジンの仕組み

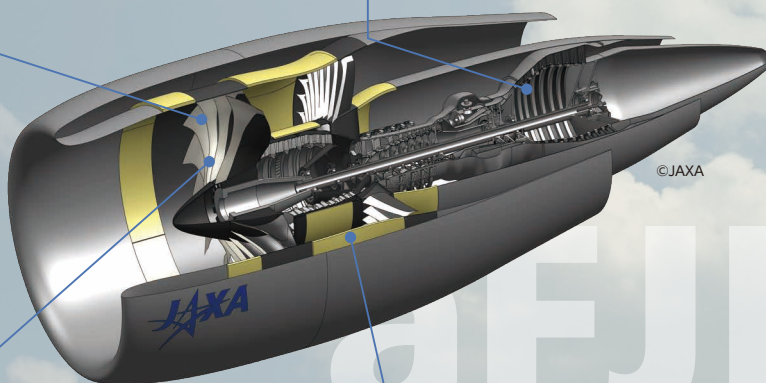
上図の圧縮機、燃焼器、タービンで構成される部分がコアエンジン。このコアエンジンの前部にファンを取付け、コアエンジンからの高熱・高速の排気(赤い部分)と、コアエンジンの外側をバイパスする低温・低速の空気の流れ(水色の部分)を一緒に噴出することにより推進効率が高められる。

aFJRプロジェクトで獲得された設計技術

■高効率軽量ファンブレード技術

高バイパス比化により大きくなるファンの摩擦抵抗が少なくなる形状を設計、ファンの空力効率の向上を図る高効率化技術を開発。

■軽量低圧タービンブレード技術

ファンの回転駆動力を発生する低圧タービンの重量増を抑えるため、従来の耐熱合金よりも軽量で耐熱性の高いCMC(セラミックス基複合材)製ブレードを開発。

■軽量ファン技術(ブレード、ディスク)

ファンの軽量化をはかるため、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)を採用し、内部を中空にした新しいファンを開発。また回転するファンを支えるメタルディスクの軽量化と、疲労寿命予測精度向上のため、加工シミュレーション技術を開発。

■軽量吸音ライナ技術

エンジンカバーの内側に取り付ける吸音ライナの軽量化、低コスト化のため、成形が可能な樹脂材を使った新しい素材により、強度、耐環境性、音響性能を備えた設計技術を開発。

国内の航空産業と連携して
"強みのある技術"を創出

――aFJRプロジェクトは民間のメーカーにも協力いただいたと聞いています。

西澤　aFJRプロジェクトの特徴は、民間の航空機用エンジンメーカーと非常に近い距離でタイアップして技術開発に取り組んだ点にあると思います。JAXAには大型の試験設備を使って正しく評価したり、スパコンを使ったシミュレーションで予測したりする技術があり、それらを活用してエンジンの効率化・軽量化を図る取り組みを進めてきました。一方、実用化を見据えたモノづくりという観点では、メーカーに一日の長があります。そこでメーカーと一緒に開発を進めたのです。具体的には、CFRPと呼ばれる炭素繊維強化プラスチックを使ったファンブレードやCMCと呼ばれる熱に強いセラミックスの素材を使ったタービンブレードなど複合材を使った部品の開発においては、製造技術におけるメーカーの豊富な経験が活き、実用化の一歩手前の段階のレベルまで供試体を作りこむことができました。

――aFJRの研究成果を活用した今後の取り組みについて教えてください。

西澤　来年度から防衛装備庁が開発したF7エンジンが技術実証用エンジンとしてJAXAに導入される予定です。このF7エンジンは高バイパス比のエンジンとして民間の航空機用エンジンと非常に共通点が多いという特徴があります。そこで、aFJRの研究成果の一部をF7エンジンに実際に搭載して実証を行い、エンジンシステムとしてもきちんと信頼性が保障されているか、性能が担保されているのかを確認する新しい事業として、「aFJR実用化促進事業」に取り組んでいきます。

航空機用エンジンの国際共同開発に日本のエンジンメーカーが参画するためにも、いわゆるひとつのエンジンとして実証された技術を保有していれば、国際的にも競争力をアピールすることができると思います。

――今年度から航空機用エンジンの中核技術である燃焼器や高圧タービンの研究開発が始まっています。どのような期待感をお持ちですか?

西澤　航空機用エンジンの製造で燃焼器や高圧タービンといったコアエンジンを担当するのは競争力の強化につながります。しかしながら、コアエンジンを作るのは技術的にとても難しく、日本はこの部分になかなか参入できず、ファンと低圧タービン部分が主な担当になってきました。aFJRはそこをしっかり固めていこうという取り組みだったわけです。将来の航空機エンジンの国際共同開発に参入していくには、コアエンジンの部分を日本でもしっかり担当できることが大事なポイントになると思っています。

ジェットエンジンを国産化している国は非常に限られています。aFJRとコアエンジンの技術実証をやり遂げた先に、国産のジェットエンジンをいつか実現できたらいいなと期待しています。

――エンジンの技術開発の将来を担う若い世代の読者にメッセージをお願いします。

西澤　航空機用エンジンの研究が面白いのは、熱力学、流体力学、材料力学や制御など、いろいろな技術的要素が詰まっているため、学生時代にどんな勉強をしていてもエンジンには必ず応用先があるということです。勉強してきたものがそのまま反映できる場がある非常に面白い分野なので、若い人たちにはぜひこの分野を目指してほしいと思っています。

――最後に。西澤さんご自身は、なぜエンジンの研究をするようになったのですか。

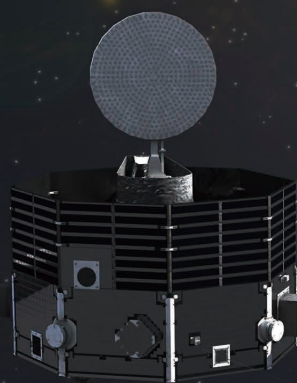
西澤　大学に入る頃までは自動車のエンジンに興味がありました。それがベースとなり、もっと圧倒的なパワーのあるジェットエンジンに興味が移ったのが、この分野に入ったきっかけです。私もまだまだ研究開発の現役として頑張りますが、若い人たちにも引き継がれ、国産のジェットエンジンが実現することを期待しています。国産のジェットエンジンが飛ぶようになったらぜひ乗ってみたいですね。

JAXAとESAの探査機、水星に向けて出発!

国際水星探査計画［BepiColombo］

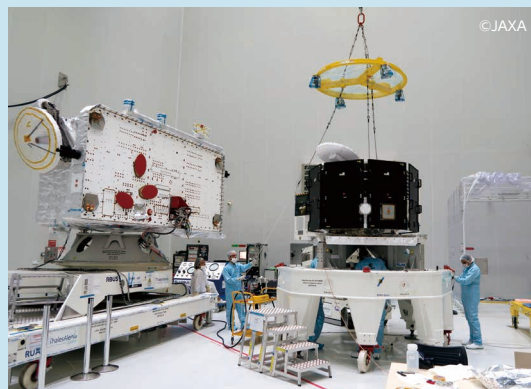
©JAXA

「みお」と「MPO」を搭載したアリアン5型ロケット打ち上げの瞬間。打ち上げから約26分47秒後にロケットから探査機を正常に分離したことを確認。今後、約7年かけて水星に到達し、世界初となる2機の探査機の周回軌道への投入を行う。

© ESA-CNES-Arianespace/Optique vidéo du CSG – JM Guillon

国際水星探査計画BepiColombo（ベピコロンボ）ミッションの水星磁気圏探査機「みお」と水星表面探査機「MPO」を搭載したアリアン5型ロケットは、2018年10月20日（日本時間）に、フランス領ギアナのギアナ宇宙センターより予定どおり打ち上げられました。BepiColomboはJAXA担当「みお」とESA（欧州宇宙機関）担当の「MPO」の2機の探査機で水星の総合的な観測を行う日欧協力の大型ミッションです。

［BepiColombo］とは?

水星は、太陽に近い灼熱の環境と大量の燃料が必要なことから周回探査は非常に困難。これまで水星へ行った探査機は、NASAのマリナー10号とメッセンジャーのみで、水星周回軌道への投入に成功したのはメッセンジャーだけとなっている。「BepiColombo」（ベピコロンボ）は、日欧協力のもと、JAXAの「みお」とESAの「MPO」という二つの周回探査機で、水星の観測に挑戦する国際水星探査計画。水星本体の磁場、磁気圏、内部、表層を初めて多角的・総合的に観測し、「惑星の磁場・磁気圏の普遍性と特異性」「地球型惑星の起源と進化」について明らかにすることを目的としている。

JAXAは、日本の得意分野である磁場・磁気圏の観測を主目標とする「みお」の開発と水星周回軌道における運用を担当する。「固有磁場の解明」「地球と異なる特異な磁気圏の解明」「水星表面から出る希薄な大気の解明」「太陽近傍の惑星間空間を観測」を行う。

打ち上げ前の水星磁気圏探査機「みお」（写真右）と水星表面探査機「MPO」（ギアナ宇宙センター）

©JAXA

「このミッションを動かしているのは、未知のものに対する好奇心」

ESA長官 ヨーハン＝ディートリッヒ・ヴァーナー

©JAXA

JAXA理事長 山川 宏

「二つの宇宙機関が2機の探査機で水星を観測する世界初のミッションです」

JAXAとESAの新しい時代の始まり

打ち上げに先立つ10月2日、ドイツのブレーメンで行われたIAC（国際宇宙会議）で、ESAのヨーハン=ディートリッヒ・ヴァーナー長官とJAXAの山川宏理事長がこのミッションについての質問に答えました。

―― BepiColomboミッションについて説明してください。

山川　二つの宇宙機関が2機の探査機で水星を観測する世界初のミッションです。水星は過去2機の探査機しか訪れておらず、たくさんの謎が残っています。水星は磁場を持っており、JAXAの「みお」はその磁気圏を観測します。ESAの「MPO」は水星の表面と内部を観測します。両方のデータを組み合わせることによって、水星の形成過程や進化のプロセスが解明されるでしょう。私は「みお」の初代プロジェクトマネージャであったため、とてもエキサイティングに思っていますし、ESAと一緒にミッションを行えることを光栄に思っています。

ヴァーナー　BepiColomboは2機の探査機が水星を同時に探査する初めてのミッションです。地球のすぐ内側に金星があります。その内側に水星があり、太陽があります。太陽の重力が非常に強いので、私は水星に行くのは簡単だと考えていました。ところがミッションの担当者によると、水星に行くのはそんなにシンプルではなく、7年かかります。その間に地球と金星で3回、水星で6回の合計9回のスイングバイを行う必要があるのです。

――このミッションのベネフィットは何ですか。

ヴァーナー　行ってみなければわかりません。私たちは金星に探査機を送り、そこでは温室効果が進んでいることを知りました。そして、地球でも同じ問題をかかえていることに気がついたのです。山川理事長もおっしゃった通り、水星は地球と同じように磁場を持った惑星です。きっと何か新しい、地球にとって大事なことがわかると思います。何にしても、このミッションを動かしているのは、未知のものに対する好奇心です。そして私たちはいつも好奇心を持っていたいと思っています。

――このミッションはどこが難しいですか。

山川　太陽の強烈な熱から探査機を防護する必要があることです。そのため非常に進んだ熱制御システムを搭載しています。

ヴァーナー　「MPO」は大きな太陽電池パネルを持っています。これをいつも太陽に対して正面に向けていると、熱の影響を受けてしまいますので、時々太陽電池パネルの角度を変えなくてはいけません。発電量がその分だけ少なくなるので、電力を効率的に使う必要があります。

――このミッションの意義は何でしょうか。

山川　ESAとJAXAはずっと昔から友好関係にありますが、一緒にミッションを行うのはこれが初めてのことです。非常にエポックメイキングなことだと思います。

ヴァーナー　これはJAXAとESAの新しい時代の始まりだと思います。私たちはさらに、将来の探査や科学ミッションについても話し合っています。

地球観測衛星データのオンボード処理技術の研究

衛星上でデータを処理し画像化！海域をカバーする地球観測の新次元技術

小澤 悟（おざわ さとる）
研究開発部門
システム技術ユニット
研究領域主幹

杉本 洋平（すぎもと ようへい）
研究開発部門
システム技術ユニット
研究開発員

写真手前の機器は、ALOS-2のデータを高速処理する地上用の試験機。今後の人工衛星搭載用ハードウェア開発に活かされる。

衛星からの地球観測分野では「だいち2号」（ALOS-2）などに搭載された合成開口レーダ（SAR）が威力を発揮しています。現在は陸域だけの観測ですが、将来のSAR衛星で軌道上のデータ処理により効率的な情報提供ができるようになれば、海域の観測も可能になります。この新技術のポイントをシステム技術ユニットの小澤悟研究領域主幹と杉本洋平研究開発員に語ってもらいました。

取材・文:山村 紳一郎（サイエンスライター）

＊掲載情報は2018年10月30日取材時点

合成開口レーダのデータ処理を衛星上で

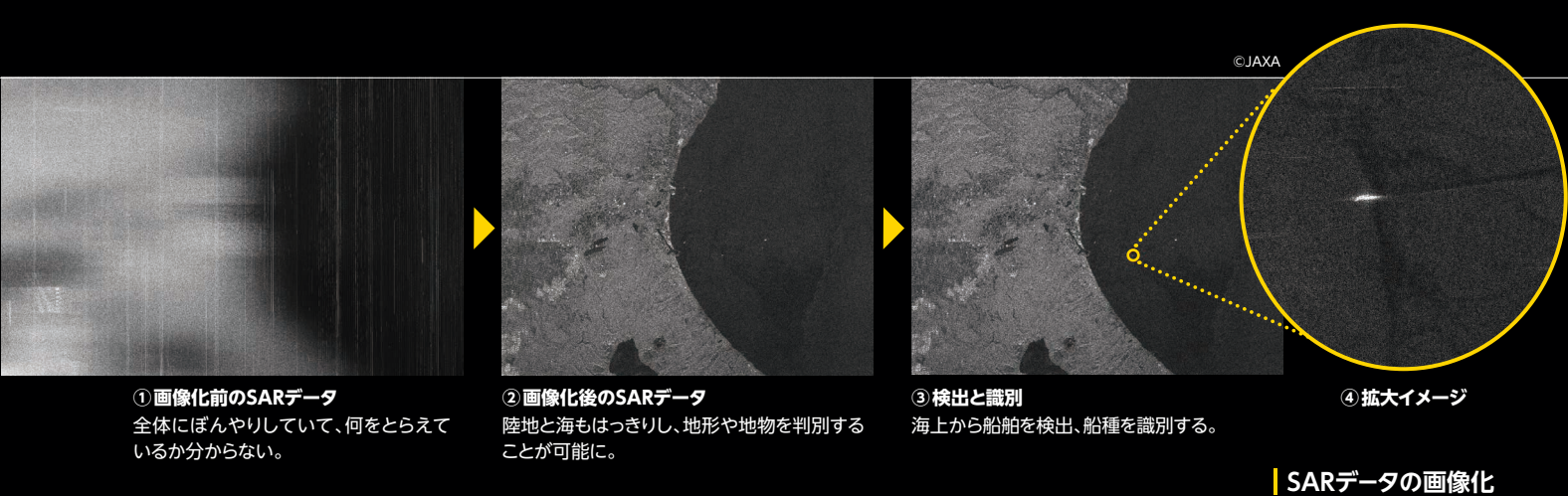
――そもそも合成開口レーダ（SAR）とはどのような技術なのですか？

杉本　地表の様子を調べるセンサーの代表は光学センサーで、地表を可視光で観測します。これに対してSARは、衛星からレーダー波を発射し、その反射波を画像化する技術です。電波ですから昼夜、天候を問わず観測できるうえ、差分干渉という方法で地殻変動などの地表面の動きを数cmの精度でとらえることもできます。高頻度な地球観測の実現を目指して、世界各国で小型SARの活用が盛んに議論されています。

――今回の技術はどのような点が新しいのでしょうか？

小澤　現在はSARで得られたデータをいったん衛星上に蓄積し、地上に送信して利用目的に合うデータへと処理しています。しかしデータ量がたいへん膨大で、地球表面全域を観測すると地上への送信が追いつかないため、今は主に陸域だけ観測しています。私たちが研究しているのは衛星上、つまりオンボードで画像化と必要な情報の検出・認識処理を行う技術です。情報が圧縮できるのでデータがコンパクトになり、蓄積にも送信にも有利になります。利用者への提供時間も大幅に短縮でき、さらに衛星上でのデータ蓄積や地上への送信に余裕ができるので、海域つまり船舶などの情報も観測可能になります。

――通信の速度を上げるという問題解決の方法もあると思いますが。

小澤　それも重要な対策ですが、レーダーの性能も高度化してデータ量が増えていきますから、通信速度が上がってもまた追いつかなくなります。衛星上で情報を圧縮するこの技術は、将来にわたって有効な解決策だと考えています。

①画像化前のSARデータ
全体にぼんやりしていて、何をとらえているか分からない。

②画像化後のSARデータ
陸地と海もはっきりし、地形や地物を判別することが可能に。

③検出と識別
海上から船舶を検出、船種を識別する。

④拡大イメージ

SARデータの画像化

SARの観測データから、ユーザが必要とするデータを衛星上で、準リアルタイムで識別し、画像化して地上に送信することを目指している。

軌道上から船舶の識別も可能

――海域の観測では具体的にはどのような成果が期待できるのでしょう。

小澤　いま、応用可能性として研究しているのが船舶情報の把握です。SAR画像を画像処理することでまず船舶がどこにいるかを識別し、さらにその大きさや形状からタンカーか客船か、貨物船かといった種類を衛星上で判別します。現在の段階では、手持ちのサンプルによる評価ではありますが、最高約66%の精度での判別に成功しています。

――衛星上で船の種類までも分かるのですね。技術的なポイントはどこにありますか?

小澤　ひとつは、人工知能技術で用いられる機械学習のディープラーニング(深層学習)という手法の応用です。多くの船舶が写っている画像を大量に用意してコンピュータに読み込ませ、船舶情報と照らし合わせた学習をさせます。学習が進むと、船の種類を外形の特徴から判別できるようになるわけです。

――膨大な計算パワーが必要なように感じますが、コンピュータの高速化はどのように?

小澤　宇宙空間では宇宙線の影響による誤作動が懸念されるため、高速作動するチップは使いにくいのです。そこで今回の技術では通常のコンピュータで使用されるCPU(中央演算素子)の高速化ではなく、速度は劣るが結果的に計算時間を短縮できる可能性を持つFPGAという素子を使いました。

杉本　CPUは決まった演算回路で、プログラムに従ってひとつずつ順番に計算を行いますが、FPGAでは自由な演算回路を設定でき、計算を次々に間を置かずに行えます。計算スピードそのものは必ずしも速くはないのですが、複数の要素を並行して処理できるため、画像処理などでは結果的に処理速度が高くなる。また、処理能力に対して消費電力が比較的小さいことも魅力です。

――FPGAならではの難しさもあると思いますが。

小澤　現時点では画像化にFPGAを用いています。画像化アルゴリズムはさまざまなものが使えますが、いずれも地上のコンピュータ用です。それを宇宙で使うFPGA用に作り替えるのにとても手間がかかるんです。計算の手順はそのままに全体をまるごと書き換える作業で、これにたいへん苦労しました。

地球観測衛星の新しい可能性を開拓

――人工知能技術や機械学習は世界的に急進していますし、FPGAでの処理も研究されています。その中でJAXAの強みはどんな点でしょう?

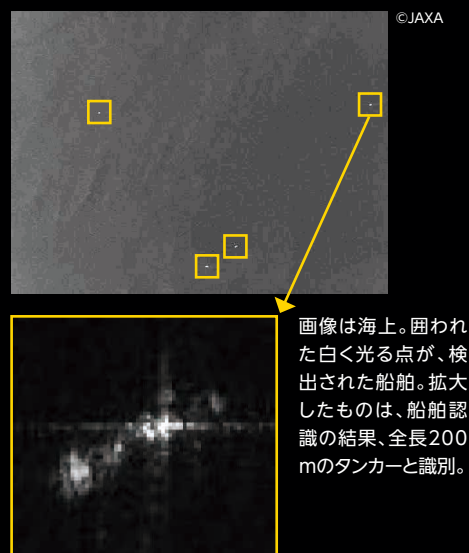
杉本　まず当然のことなのですが、宇宙には地上と異なる技術ノウハウが必要で、JAXAにはこれがあります。FPGA採用なども長年の宇宙開発で培った経験からの判断によるもので、これは大きな強みだと思います。他で行われているFPGAでの画像化は地上での処理で、衛星のオンボードでの画像化は極めて先進的な試みです。

小澤　また、SARという特殊なセンサーの特性や生成情報の性質を細かく把握できるのもアドバンテージですね。どんな電波でどのようなデータが取れ、どのようなアルゴリズムで信号処理をしてこの画像になっているかが分かっている。また、必要なら画像化前の元データそのものの性質を検証することも可能です。

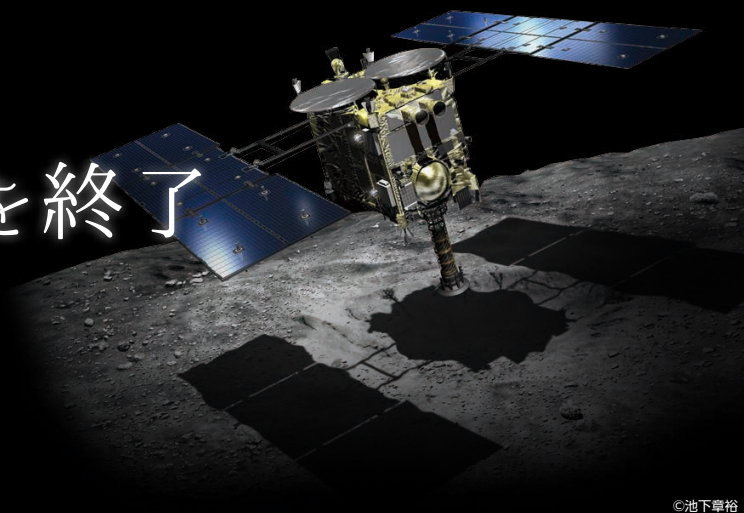
――だからこそ最適な画像化や検出・認識の技術検討ができるのですね。では、この技術の今後の展望をお聞かせください。

杉本　「だいち」はその名の通り陸域の観測衛星ですが、いま、海洋宇宙連携の重要性も高まっています。近年、MDA(海洋状況把握)が注目されていますが、SARで船舶の存在をとらえ、詳しい状況をさらに光学センサーで観測するという運用などにより、海洋のガバナンスに貢献できる観測システムが作れます。航海や海洋の安全性を高める技術になると思います。

小澤　情報提供のスピードアップは、SARデータへの敷居を下げるでしょう。光学センサーのデータ、つまり写真と同じように扱えるものになる。いろいろな応用が始まると思いますし、比較的短時間の地表変化をとらえて火山活動を検討するような場合にも役立つでしょう。オンボード処理技術の進展によって、地球観測衛星のひとつの新しい可能性を開拓できると確信しています。

海上での船舶検出のイメージ

画像は海上。囲われた白く光る点が、検出された船舶。拡大したものは、船舶認識の結果、全長200mのタンカーと識別。

「はやぶさ2」ミッション前半を終了

文：吉川 真（よしかわ まこと）
宇宙科学研究所
宇宙機応用工学研究系准教授
「はやぶさ2」プロジェクトチーム
ミッションマネージャ

2018年9月からは、「はやぶさ2」は次々と重要なミッションを行ってきました。その最初が、タッチダウンに向けた1回目のリハーサルでしたが、これは高度600m付近でLIDARの計測値の問題が生じてしまいました。この問題はすぐに解決策が分かり、9月21日には小型ローバであるMINERVA-Ⅱ1の分離運用を行い、2機の小型ローバをリュウグウ表面に降ろすことに成功しました。「はやぶさ」では失敗してしまった運用ですから、MINERVA-Ⅱ1の成功は大きな一歩となりました。さらに、2機のローバがリュウグウ表面のすばらしい写真を送ってきたというおまけ付きです。

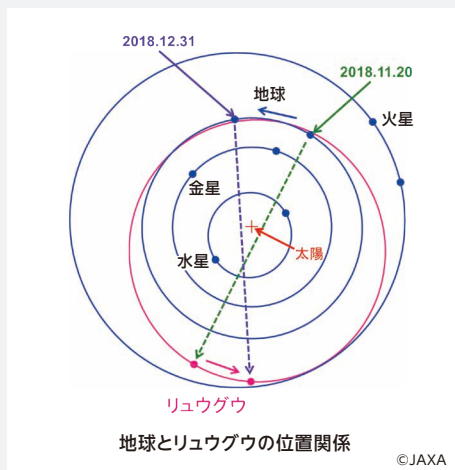
続いて、ドイツ・フランスが作成した小型着陸機MASCOTの分離運用を行いました。MINERVA-Ⅱは1機あたり1kg程度の重さですが、MASCOTは10kgほどあります。10月3日に探査機から分離されたMASCOTはすぐにリュウグウ表面に到達し、約17時間にわたってリュウグウ表面の観測を行いました。探査機の方は高度3km付近でホバリングをし、MASCOTからのデータを地球に送ることができました。MASCOT運用も成功し、3機の小型着陸機を小惑星に届けたという快挙となりました。

次はいよいよタッチダウンです。当初の予定では10月下旬に行う予定でしたが、リュウグウ表面のいたるところに岩塊が分布しているので、タッチダウンは2019年に延期して、10月中にリハーサルとして2回の降下運用を行いました。10月25日には、高度12mまで降下をし、ターゲットマーカの切り離しにも成功しました。

11月下旬から12月末までは、地球から見て探査機が太陽方向に位置することになり、通信ができなくなる場合もあります。この期間は合（ごう）運用として、探査機を安全な軌道に投入しておくことを行っています。この合運用期間中に、タッチダウンに向けた検討を進めています。

地球とリュウグウの位置関係 ©JAXA

「はやぶさ2」の合運用について

地球と探査機との間に太陽が位置し、地球から見た時に探査機が太陽とほぼ重なる方向にある場合を「合」と言います（左図）。「合」の期間は太陽が放射する電波によって探査機との通信が確保できません。このため、「はやぶさ2」ではこの期間ホームポジション（リュウグウから20km）から太陽方向に110kmほど離れる合軌道に投入することで安全を確保します。

MINERVA-Ⅱの分離着陸イメージCG。MINERVA-Ⅱ1には2機のローバが搭載されている。左手前がローバ-1B。中央奥がローバ-1A。右側はMINERVA-Ⅱ2搭載のローバ-2。 ©JAXA

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部 〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6 御茶ノ水ソラシティ | TEL:03-5289-3650 | FAX:03-3258-5051
JAXAウェブサイト http://www.jaxa.jp/
メールサービス http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/